

Meritev je v pripravi in zahteva ponovitve za povečanje točnosti. V sedanji fazi je meritev točna le na cca 10%.  
Dovolj za oceno, kaj bo dala končna meritev in premalo za pripravo članka.

Franc Rozman

## Hitrost svetlobe v krivini optičnega vlakna

### Povzetek

*Svetloba je v krivini optičnega vlakna izpostavljena radialnim pospeškom. Meritev pokaže, kako radialni pospešek v krivini optičnega vlakna vpliva na hitrost svetlobe. Članek podaja način merjenja in rezultate meritve.*

### Uvod

V krivini optičnega vlakna je svetloba izpostavljena radialnemu pospešku. V krivini  $r=4$  cm pri hitrosti svetlobe v steklu  $2 \cdot 10^8$  m/s, le-ta ustvari radialni pospešek  $a_r = 10^{18}$  m/s<sup>2</sup>.

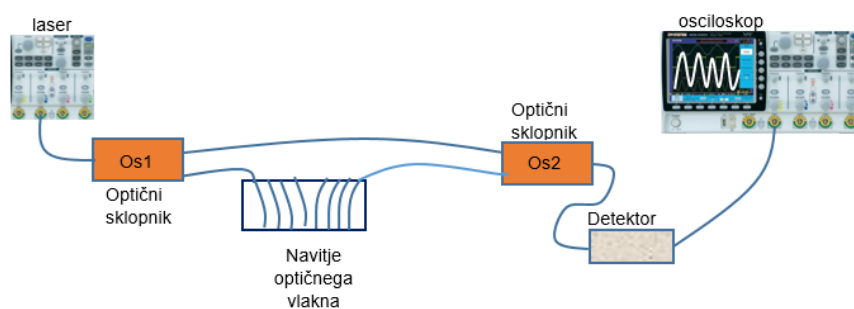
Optično vlakno ukrivimo in merimo upočasnitev hitrosti svetlobe zaradi krivljenja. EM val zaradi upočasnitve zamuja. Preštejemo za koliko valovnih dolžin zamuja EM val.

Meritev ni zahtevna. Zahteva zgolj krivljenje vlakna in merjenje upočasnitve hitrosti svetlobe.

Tu naj izpostavim, da sprememba hitrosti svetlobe kot posledica radialnega pospeška svetlobe ni skladna s fizikalno vedo. Obenem pa je izmerjena sprememba hitrosti zaradi sprememb radialnega pospeška na EM val zelo nazorna, izmerjeno dejstvo, ki ga ne moremo spregledati.

### Shema meritve

Laserski žarek v optičnem sklopniku Os1 ločimo v dva žarka. Gornje optično vlakno in žarek v njem vodimo neposredno na optični sklopnik Os2. Spodnji optični vodnik med sklopnikoma pa je navit na boben.



Slika 1

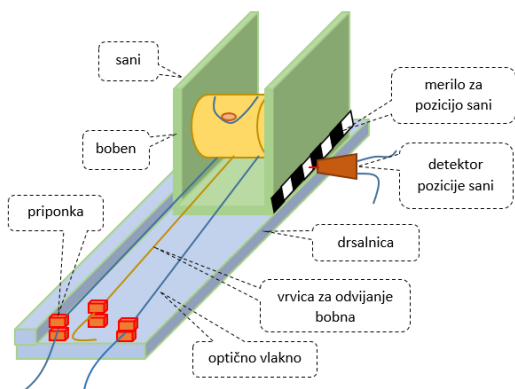
Ukrivljenost optičnega vlakna na bobnu spreminjamo tako, da vlakno navijamo ali odvijamo z bobna. Ob tem merimo, kako ukrivljenost optičnega vlakna vpliva na hitrost svetlobe v njem.

Na optični sklopnik Os2 svetloba po eni in drugi poti prispe z večjim ali manjšim časovnim zamikom, odvisno od števila ovojev optičnega vlakna na bobnu.

Merilnik je zasnovan tako, da na optično vlakno deluje le sila lastne teže optičnega vlakna. Ob optičnem vlaknu je vrvica (Slika 2), ki skrbi za odvijanje optičnega vlakna in razbremeni optično vlakno vseh sil razen sile, ki naj deluje zaradi lastne teže vlakna.

Boben optičnega vlakna je nameščen na saneh - Slika 2. Sani premikamo. Med meritvijo se optično vlakno odvijaja z bobna. Sani ob premikanju ne ustvarjajo tresljajev.

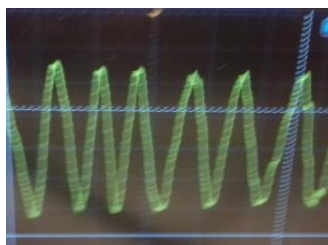
Premike sani, s tem pa odvijanje optičnega vlakna elektronsko odčitavamo. Osciloskop na enem kanalu prikazuje lokacijo (hitrost) premikanja sani in bobna na njih, na drugem kanalu pa interferenco obeh žarkov.



**Slika 2**

### Merilni rezultati:

Spremembe hitrosti svetlobe v ukrivljenem optičnem vlaknu prikazuje pojavljanja interferenc. Optično vlakno odvijamo z bobna (ali navijamo) in štejemo pojavljanje interferenc.



**Slika 3**

Slika 3 kaže prepoznavno pojavljanje interferenc na osciloskopu. Neznatne naključne motnje so ločljive od sistematičnih in ponavljajočih rezultatov meritev.

Meritev je opravljena na eno rodnem optičnem vlaknu pri valovni dolžini svetlobe 1550 nm na štirih premerih bobnov: 23 mm, 35 mm, 58 mm in 167 mm.

Na boben se hkrati navijata dva konca istega optičnega vlakna, kot to kaže Slika 2.

### Rezultati meritev

d	Premer bobna (mm)	23	35	58	167
Ob	Obseg bobna (mm)	72	110	182	525
$I_{mm}$	Interferenc na mm odvitja vlakna	1,4	1,1	0,53	0,26
$I_{ob}$	Interferenc na obseg bobna	100	122	96	139

**Tabela 1**

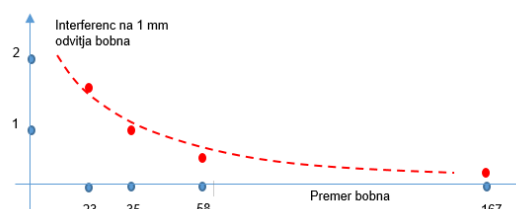
$d$  - izbran premer bobna.

$Ob$  - obseg bobna ( $\pi \cdot d$ ).

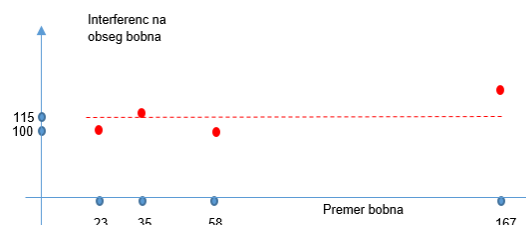
$I_{mm}$  - število interferenc na dolžini 1 mm odvitja optičnega vlakna z bobna.

$I_{ob}$  - število interferenc na dolžini enega obsega bobna.

### Grafično ponazoritev rezultatov



Število interferenc, ki se pojavijo pri razvitju 1 mm optičnega kabla z bobna ob različnih premerih bobna.



Število interferenc, ki se pojavijo pri razvitju optičnega kabla v dolžini enega obsega bobna ob različnih premerih bobna.

## Posplošitev merilnih rezultatov

Razmerje med zamikom žarkov, ki se pojavi pri enem navoju optičnega vlakna, glede na celotno dolžino enega navoja optičnega vlakna na bobnu:

$$lob \cdot \lambda / ob = 2,8 \cdot 10^{-5} r$$

( $lob$  je v povprečju 113,  $\lambda = 1,55 \cdot 10^{-6}$ ,  $ob = 2 \cdot \pi \cdot r$ )

Razmerje podaja spremembo hitrosti svetlobe v ukrivljenem vlaknu v odnosu na hitrost svetlobe v ravnem vlaknu.

$$lob \cdot \lambda / ob = \Delta c_s / c_s = 2,8 \cdot 10^{-5} r \quad \text{Enačba 1}$$

$c_s$  – hitrost svetlobe v ravnem optičnem vlaknu

$\Delta c_s$  – sprememba hitrosti svetlobe v krivini optičnega vlakna z radijem  $r$ , pri  $\lambda = 1550 \mu\text{m}$ .

$r$  – radij krivine optičnega vlakna

V enačbo vpeljemo radialni pospešek svetlobe  $a_r$  v krivini optičnega vodnika, ki znaša:

$$a_r = v_c^2 / r$$

Enačba 1 dobi obliko:

$$\Delta c_s = 1,4 \cdot 10^{-13} \cdot a_r \quad \text{Enačba 2}$$

Sprememba hitrosti svetlobe v optičnem vodniku  $\Delta c_s$  je sorazmerna z radialnim pospeškom svetlobe  $a_r$  v krivini optičnega vlakna.

Hitrost svetlobe v ukrivljenem optičnem vlaknu se glede na Enačbo 1 spreminja z ukrivljenostjo vlakna.

Glede na Enačbo 2 se hitrosti svetlobe spreminja sorazmerno z radialnim pospeškom  $a_r$  svetlobe v optičnem vlaknu.

### Primer 1

Hitrosti svetlobe pri ukrivljenosti vlakna  $r = 2,8 \text{ mm}$  se spremeni za faktor  $10^{-3}$ :  
 $\Delta c_s / c_s = 10^{-3}$   
( $2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ).

## Ocena zanesljivosti merilne metode

Rezultati meritve presenečajo. Pomenijo preobrat v fizikalnem razmišljanju, zato se pojavljajo vprašanja, ali v merilni metodi mogoče le ni skrite napake.

Naj omenim in ocenim pomisleke.

Sprememba temperature okolice minimalno vpliva na dolžino optičnega vlakna. Merimo s kratkimi optičnimi vlakni (nekaj metrov). Meritev traja le nekaj sekund. Okoliščini zagotavljata temperaturno stabilne pogoje merjenja.

Vpliv krivljenja vlakna na polarizacijo svetlobe. V meritvi uporabljamo optično vlakno tipa PM1550-XP, ki ohranja polarizacijo svetlobe tudi ob krivljenju in zvijanju.

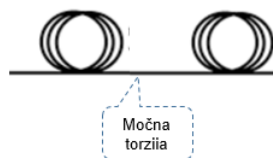
Sprememba dolžine optičnega vlakna Spreminjanje dolžine optičnega vlakna zaradi mehanskih obremenitev bi bil lahko tretji razloga za izkrivljanje rezultatov meritve.

Na osnovi natezne trdnosti in elastičnosti stekla, po Hookovem zakonu<sup>1</sup> lahko izračunamo, da steklo raztezka  $\Delta c_s / c_s = 10^{-3}$  (iz Primera 1) ne vzdrži. Že pri manjšem raztezkju se steklo raztrga.

Optično vlakno je ob meritvi obremenjeno z nekaj razredov manjšimi silami od sile raztrganja. Razbremenjeno je vseh sil razen sile, ki jo povzroča lastna teža optičnega vlakna.

Izmerjena interference ni posledica sprememb dolžine vlakna.

Lomni količnik v optičnem vlaknu na hitrost svetlobe



vpliva lomni količnik in radialni pospešek svetlobe. Lomni količnik zaradi zunanjih sil lahko

spreminja svoje vrednosti v različnih smereh. Zanima nas le lomni količnik v vzdolžni smeri. Imamo več načinov ocene lomnega količnika.

<sup>1</sup> Hookov zakon

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Hookov\\_zakon](https://sl.wikipedia.org/wiki/Hookov_zakon)

Polarizator ustvarja med obema navojema optičnega vlakna torzijske obremenitve. Le te se skorajda ne odražajo na lomnem količniku in hitrosti svetlobe. Drug način je raztezanje ravnega optičnega vlakna in ugotavljanje vpliva natezne sile na lomni količnik. Meritve (*bodo*) pokazale, da tako vzdolžne kot prečne napetosti v optičnem vlaknu nimajo znatnega vpliva na lomni količnik.

Spremembe lomnega količnika so motnja v meritvi. Ker je lomni količnik po pričakovanjih znatno manjši od vpliva radialnega pospeška na hitrost svetlobe, to neznatno omejuje točnost meritev

#### Gaussova porazdelitev fotonov v optičnem vlaknu

Eden od pomislekov se nanaša na porazdelitev fotonov v krivem optičnem vlaknu. Gostota fotonov v optičnem vlaknu na notranji strani krivine je lahko drugačna, kot na zunanji strani krivine, zato bi se v krivini optičnega vlakna lahko spremenila dolžina poti fotonov.

Časovni zamiki svetlobe v enem ovoju optičnega vlakna okrog bobna znaša 113 valovnih dolžin, kar pomeni 175  $\mu\text{m}$ . Za toliko bi se moral spremeniti obseg poti žarka. Taka sprememba zahteva, da se radij poti žarka izmakne za 28  $\mu\text{m}$ . Pri premeru optičnega kabla 9  $\mu\text{m}$ , s katerim merimo, bi to pomenilo izmik žarka iz optičnega vlakna za tri premere optičnega vlakna.

Primerjava meritve s krivljenjem svetlobe ob masivnem telesu (Soncu). Bralcem članka se poraja asociacija o potovanju svetlobe v krivini optičnega vlakna s krivljenjem svetlobe ob masivnem telesu.

Svetloba po fizikalni vedi v praznem prostoru v vseh primerih potuje naravnost, tudi v krivem prostoru ob Soncu. Po fizikalni vedi v štirirazsežnem prostoru svetloba v vakuumu ne spreminja svoje hitrosti niti po dolžini vektorja, niti po smeri vektorja hitrosti.

Michelsonov interferometer Strokovna literatura omenja meritve, ki sta jo leta 1877 opravila Michelson in Morley. Literatura je enotna v tem, da je njuna meritev ovrgla obstoj etra kot nosilca svetlobe. Ta meritev pa ne odgovarja na vprašanja, kako na hitrost svetlobe deluje radialni pospešek.

Vpliv krivine na valovno dolžino in frekvenco svetlobe. Pojavlja se misel, da je fazni zamik lahko posledica sprememb bodisi frekvence  $f$  ali valovne dolžine  $\lambda$  v krivini optičnega vlakna.

Če se  $f$  in  $\lambda$  v krivini optičnega vlakna spreminjata tako, da se v vsaki točki ohranja  $c = f \cdot \lambda$  potem te spremembe ne vplivajo na rezultat meritve. Za meritve take spremembe  $f$  in  $\lambda$  niso pomembne.

Če pa se  $f$  ali  $\lambda$  na posameznih odsekih krivljenja optičnega vlakna spreminjata tako, da ni zadoščeno enačbi  $c = f \cdot \lambda$ , potem to pomeni spremembe hitrosti na teh odsekih.

Iz rezultatov meritev lahko sklepamo, da radialni pospešek vpliva na valovno dolžino svetlobe v krivini optičnega vlakna, s tem pa na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu.

#### **Zaključek**

Meritve kažejo, da svetloba v krivini optičnega vlakna spremeni hitrost svetlobe. Na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu vpliva radialni pospešek. Večja ukrivljenost žarka in s tem večji radialni pospešek svetlobe, pomeni večjo spremembo hitrosti svetlobe izraženo v m/s, ne le v smeri vektorja hitrosti svetlobe.

Zaključki te meritve lahko pomenijo pomembnejše odklone od aktualnih fizikalnih znanj.

Meritve je namenoma tako poenostavljena, da lahko vzamemo nekaj optičnih vlaken, laser in osciloskop in jo predstavimo v vrtcu. Namenjena je širokemu krogu ljudi. Na vprašanje malčka v vrtcu, »ali pojavi referenc pomenijo spreminjanje hitrosti svetloba v vlaknu na bobnu«, je odgovor lahko le pritrdilen.